

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Odolnost materiálů ze slinutého karbidu vůči tepelným rázům
indukovaným řezným procesem**

**Resistance of Sintered Carbide Materials to Thermal Shock
Induced by the Cutting Process**

Student:

Bc. Jakub Kostka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2012



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kostka**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Odolnost materiálů ze slinutého karbidu vůči tepelným rázům
indukovaným řezným procesem**
**Resistance of Sintered Carbide Materials to Thermal Shock Induced by
the Cutting Process**

Zásady pro vypracování:

1. Teorie tepelného namáhání materiálů ze slinutých karbidů.
2. Popis metod zkoušení odolnosti materiálů vůči teplotním rázům.
3. Experimentální zkoušení.
4. Vyhodnocení naměřených dat.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 1. díl. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABÁČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábení*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

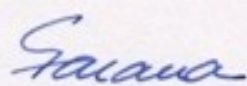
Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrá, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2012

.....
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Kostka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Staré Hamry 9



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOSTKA, J. *Odolnost materiálů ze slinutého karbidu vůči tepelným rázům indukovaných řezným procesem*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, s. Vedoucí práce: Petrů, J.

Tato diplomová práce se zabývá závislostí počtu a délek trhlin na obsahu kobaltu ve vzorku. Zkoumané vzorky jsou vyrobeny ze slinutého karbidu na bázi WC-Co. Nejprve jsou rozebrány základy o slinutých karbidech a povlacích, a poté základy k tepelným a mechanickým rázům. V experimentální části a vyhodnocení se práce zabývá tím, který ze vzorků bude nejvhodnější k výrobě řezných destiček ze slinutého karbidu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KOSTKA, J. *Resistance of Sintered Carbide Materials to Thermal Shock Induced by the Cutting Process: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, p. Thesis head: Petrů, J.

This master thesis deals with the dependence of the number and lengths of cracks on the cobalt content in the sample. The investigated samples are made of cemented carbide based on WC-Co. Firstly we discussed the basics of cemented carbides and coatings, and then the foundations of thermal and mechanical shock. In the experimental part and the evaluation of the thesis deals with the fact that the samples will be most suitable for the production of cutting inserts of cemented carbide.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	9
1 Teorie tepelného namáhání materiálů ze slinutých karbidů	10
1.1 Rozdělení a značení slinutých karbidů.....	10
1.2 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co.....	11
1.3 Použité složky slinutých karbidů	14
1.4 Povlakování slinutých karbidů.....	15
1.5 Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům	16
1.5.1 Mechanický ráz při vnikání bříty do obrobku	16
1.5.2 Teplotní ráz při výstupu bříty z obrobku.....	17
1.5.3 Hodnocení odolnosti slinutých karbidů proti teplotním rázům.....	18
1.6 Technologické zkoušky odolnosti proti teplotním a mechanickým rázům	19
1.6.1 Válec s ocelovými lopatkami	19
1.6.2 Válec s podélnými drážkami	20
1.6.3 Obrobek s válcovými čepy.....	20
1.6.4 Dynamicky přerušovaný řez	22
1.7 Měření teploty při obrábění.....	22
1.7.1 měření teploty termočlánky.....	23
1.7.2 Měření pomocí termistorů.....	23
1.7.3 Měření pomocí pyrometrů.....	24
1.7.4 Teplotní indikátory	24
2 Popis metody zkoušení odolnosti SK proti tepelným rázům.	25
3 Experimentální část.....	30
4 Vyhodnocení naměřených dat	41
4.1 Vyhodnocení počtu trhlin na jednotlivých vzorcích.....	41
4.2 Vyhodnocení typu trhlin v závislosti na chemickém složení a obsahu kobaltu.	43
4.3 Vyhodnocení délek trhlin v závislosti na obsahu kobaltu	44
Závěr.....	46
Literatura.....	48
Seznam příloh.....	50

Seznam použitých značek a symbolů

SK	[-]	Slinutý karbid
HV	[-]	tvrdost podle Vickerse
R _m	[-]	pevnost v tahu
VÚOSO	[-]	Výzkumný ústav obráběcích strojů a obrábění
VBD	[-]	Vyměnitelné břitové destičky
BES	[-]	zpětný odraz elektronů
SEM	[-]	elektronový mikroskop
RTG	[-]	rentgenové záření
SE	[-]	detektor sekundárních elektronů
BSE	[-]	detektor zpětně odražených elektronů
TE	[-]	detektor prošlých elektronů
EDS/WDS	[-]	detekce charakteristického rentgenového záření
EBSD	[-]	difrakce zpětně odražených elektronů
iTCN	[-]	řídící systém
CVD	[-]	Chemical Vapor Deposition (Chemická depozice z plynné fáze).
PVD	[-]	physical vapour deposition (nanášení odpařením z pevné fáze
HW	[-]	nepovlakované slinuté karbidy na bázi wolframu
HC	[-]	povlakované slinuté karbidy
ISO	[-]	mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem
WC	[-]	karbid wolframu
Cr ₃ C ₂	[-]	karbid chromu
E	[-]	modul pružnosti
T _{vz.}	[-]	tak zvané
VDI	[-]	Verein Deutscher Ingenieure (Spolek německých inženýrů)
φ	[-]	průměr, průměrná hodnota



f_{ot}	[mm]	posuv na otáčku
a_p	[mm]	hloubka záběru
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
n	[min ⁻¹]	otáčky
F_c	[N]	hlavní síla

Úvod

V dnešní době se vývoj ubírá směrem co k nejefektivnějším a nejkvalitnějším provedením výrobku a služeb. Proto je třeba vyrábět, z co nejkvalitnějších materiálů které jsou k dostání. A je třeba klást na tyto materiály ty nejefektivnější zkoušky, abychom mohli zaručit co nejlepší kvalitu výrobku.

Proto se v této diplomové práci budu zabývat zkoušce materiálů ze slinutého karbidu vůči tepelným rázům v řezném procesu.

Tato zkouška bude provedena ve firmě Pramet Tools v Šumperku, na vertikálním obráběcím centru, na dvanácti destičkách ze slinutého karbidu s různým, obsahem kobaltu. Tyto destičky pak odmastíme a budeme zhotovovat na elektronovém mikroskopu fotografie bříty destičky. Fotografie zhotovíme ve vhodném měřítku, abychom mohli lehce vyhodnotit délky a typy trhlin, které vznikly při obrábění. Tyto trhliny se mohou vyhodnotit buď na počítači s vhodným softwarem, nebo pomocí pravítka, kdy naměříme délku trhlin v milimetrech a podle měřítka uvedeného na pořízené fotografii přepočítáme jednoduchým vzorcem na skutečné délky trhlin v mikrometrech (μm). A dle počtu a typu trhlin zjistíme, které složení a jaký obsah kobaltu je nejideálnější pro výrobu řezných destiček.

1 Teorie tepelného namáhání materiálů ze slinutých karbidů

Slinuté karbidy

Na přelomu 19. A 20. Století byla vyvinuta velká snaha k vytvoření umělého diamantu k obrábění velmi tvrdých materiálů, toto se nepodařilo, ale byly objeveny materiály jako Karbidy, Boridy a Silisidy které měly vysokou teplotu tavení, a vysokou tvrdost.

Na počátku 20. Století bylo vyrobeno žhavicí vlákno z Wolframového prášku, a tímto objevem se začal rozvíjet vědní obor prášková metalurgie, jež se zabýval výrobou řezných materiálů na bázi karbidu wolframu, které byly velice tvrdé, a odolné proti opotřebení.

1.1 Rozdělení a značení slinutých karbidů

Slinuté karbidy patří k nejrozšířenějším řezným materiálům. Kvůli rozdílným vlastnostem jednotlivých typů slinutých karbidů bylo třeba udělat nějaké všeobecné rozdělení. Proto byl vyvinut systém ISO. Dle normy ČSN ISO 513 se slinuté karbidy označují:

- HW – Slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem CO a zrnitostí větší než 1 μm ,
- HF – Slinuté karbidy s obsahem primárního WC, pojivem CO a zrnitostí menší než 1 μm ,
- HC – Povlakované slinuté karbidy.

Použití slinutých karbidů znázorňuje (tabulka 1), ve které lze vidět rozdělení do jednotlivých skupin a k nim přiřazených podskupin a následný výběr efektivního využití určité skupiny.

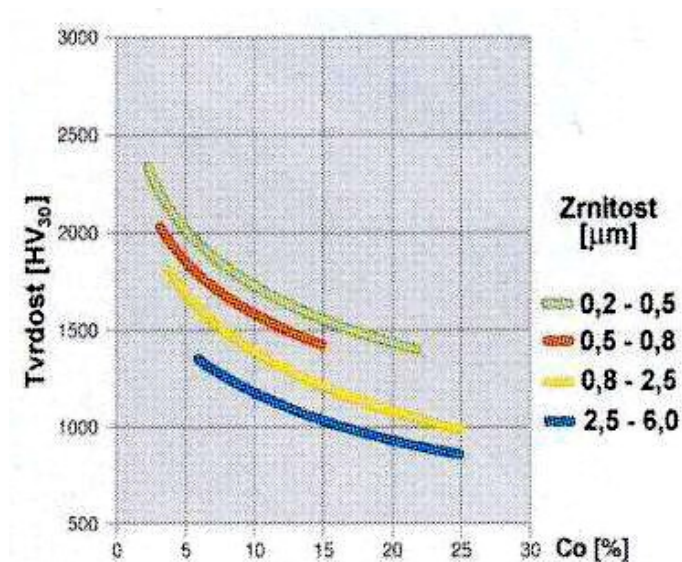
Tabulka 1 – Značení slinutých karbidů[1]

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automátová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárovevná, nemagnetická a ořezavzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzeňé kokilové litiny HSh 55÷58

U většiny výrobců se tento systém využívá jako základní rozdělení při volbě optimálního rezného nástroje. Někteří však nerozdělují své výrobky do šesti skupin ale jen do tří až pěti skupin, přičemž například skupinou obráběných materiálů N zařazují pod skupinu K, S do skupiny M a H do skupiny P. Dělení do tří skupin přetrvává podle starší normy ISO.[4]

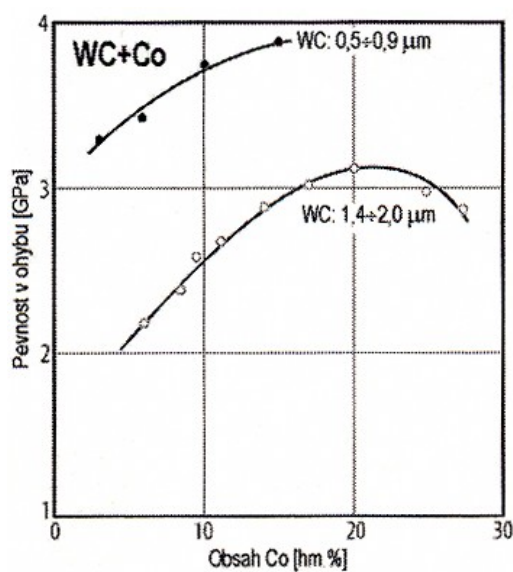
1.2 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů typu WC-Co

Tvrдость – Je nejvíce závislá na obsahu kobaltu a velikosti jeho zrna (Obr. 2). Tvrдость slinutých karbidů tohoto typu se pohybuje mezi 780 – 2125 HV. Protože se slinuté karbidy používají především k obrábění, při vysokých rezných rychlostech a posuvech, kde vzniká vysoká teplota, tak musíme zajistit, aby slinutý karbid měl vysokou tvrдость za tepla.

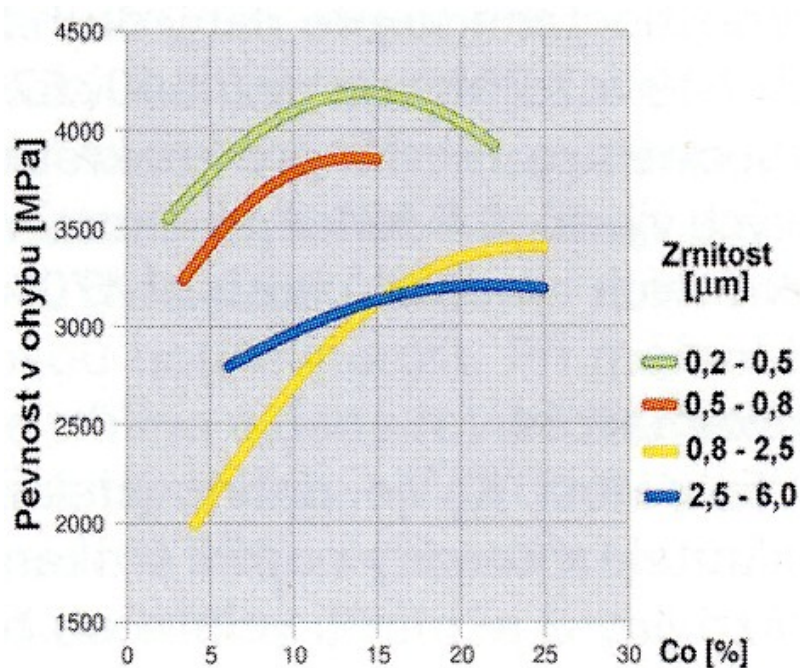


Obrázek 1 - Závislost tvrdosti na obsahu kobaltu a zrnitosti [8]

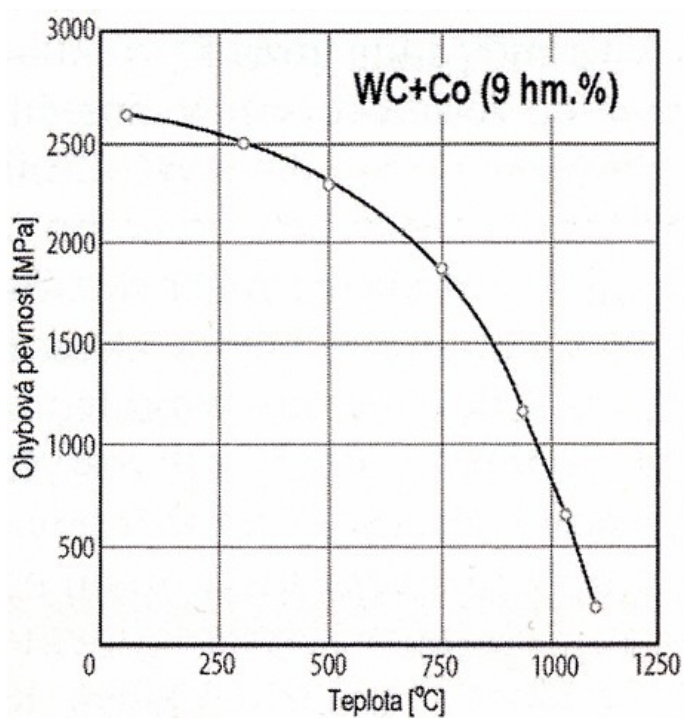
Pevnost v ohybu – Ta je tím větší čím víc je obsaženo kobaltu. Také jako u tvrdosti zde klesá ohybová pevnost s navyšující se teplotou. Maximální pevnost v ohybu je dána velikostí zrna karbidu Wolframu. Moderní materiály dosahují pevnosti v ohybu 2000 – 4700 MPa.



Obrázek 2 – Závislost pevnosti v ohybu na obsahu kobaltu [7]



Obrázek 3 - Závislost pevnosti v ohybu na obsahu kobaltu a zrnitosti [8]



Obrázek 4 - Závislost pevnosti v ohybu na teplotě [7]

Pevnost v tahu - je obtížně měřitelná, jelikož jsou slinuté karbidy materiály s nízkou tažností a vysokou křehkostí. Obecně lze říci, že hodnota pevnosti v tahu dosahuje zhruba poloviny hodnoty pevnosti v ohybu. [6]

Modul pružnosti ve smyku a tahu – Hodnoty těchto modulů klesají, když se zvyšují hodnoty kobaltu a také zrna. Modul pružnosti v tahu je uváděn v rozmezí $440 \div 670$ GPa a modul pružnosti ve smyku mezi $170 \div 270$ GPa [6].

1.3 Použité složky slinutých karbidů

Karbid Wolframu (WC)

- Tento karbid je prvním karbidem, který byl používán jako tvrdá fáze slinutých karbidů.
- hexagonální krystalová mřížka, vytváří lehce rozpoznatelná zrna pravoúhlého nebo trojúhelníkového tvaru.

Při slinování se zrna WC rozpouštějí a zároveň reprecipitují. Toto vede k tomu, že počet karbidů se snižuje, ale zároveň dochází k jejich růstu. Přidáním přísad kovů jako Ta, Cr jde zamezit růstu zrn.

Karbid wolframu je vyráběn z prášku čistého wolframu, který je po smíchání s pevným uhlíkem (ve formě sazí nebo grafitu) ohříván v atmosféře nauhlčujících plynů při teplotě asi $1300 - 2400^{\circ}\text{C}$ (čím nižší je teplota, tím menší je zrnitost WC, navíc při nižších teplotách mají částice WC více mřížkových poruch, a proto při slinování vykazují vyšší reakční schopnost). [9]

Kobalt (Co)

Kobalt je ve slinutých karbidech používán jako pojivo a je to feromagnetický kov modrobílé barvy. Když slinujeme slinutý karbid na bázi WC-Co přidáváme kobalt ve formě prášku, přidáme ho rovnou do výchozí směsi prášků. Obsah kobaltu je udáván v %.

Karbid Chromu (Cr_3C_2)

Cr_3C_2 je jediný používaný karbid ve slinutých karbidech, ze všech tří známých karbidů chromu. Přidáváme jej, abychom snížili růst zrna.

1.4 Povlakování slinutých karbidů.

Povlaky na nástroje byly vyvinuty zvláště k prodloužení životnosti nástroje. Tím jak se zdokonalovaly slinuté karbidy, tím se také vyvíjely nové typy povlaků. Dle technologie nanášení povlaků můžeme rozdělit do dvou skupin.

- Nanášení povlaku metodou PVD (Physical Vapour Deposition), tato metoda využívá naprašování, nebo napařování pevných materiálů na povrch materiálů při teplotách pod 500°C [11]. Tato metoda byla vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli, kde je třeba nižší teploty, aby nedocházelo k velké tepelně ovlivněné oblasti.
- Nanášení povlaku metodou CVD (chemical vapour deposition), při této metodě dochází k napařování z chemických reaktivních plynů, při teplotě až 1500°C. Této metody se využívá jako hlavní při povlakování slinutých karbidů. U ostatních materiálů je omezení kvůli vysokým teplotám napařování, které negativně ovlivňují mechanické vlastnosti povlakovaných materiálů.

Výhody povlaku CVD:

- Hustota povlaku je velmi vysoká,
- Má vysokou teplotní stabilitu,
- Rovnoměrná tloušťka u tvarových součástí.

U povlakování metodou PVD je celá řada výhod i nevýhod a to jak u naprašování, tak i u napařování. U naprašování jsou hlavní výhody: odpařování slitin, prvků i sloučenin, odprašovací terč má dlouhou životnost a je stabilním zdrojem pár, má velmi malé zatížení tepelnou radiací. Naopak nevýhody jsou drahé odprašované terče, je zde výrazně menší intenzita než u odpařování.

Hlavní výhody napařování jsou: jde odpařovat veškeré vodivé materiály, je zde velmi nízké tepelné zatížení tepelnou radiací. Hlavní nevýhodou je možnost odpařování pouze elektricky vodivých materiálů.

1.5 Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům

Význam odolnosti slinutých karbidů proti zatížení (namáhání) břitů vyměnitelných břitových destiček teplotními a mechanickými rázy je velký. Slinuté karbidy jsou charakterizovány nižší houževnatostí oproti např. rychlořezným ocelím. Příčinou tohoto jevu je podstatně větší podíl vlastní řezné složky – karbidů – v poměru k obsahu pojíci fáze. Odolnost materiálu vyměnitelných břitových destiček proti teplotním a mechanickým rázům je stejně důležitým ukazatelem jakosti, jako je otěruvzdornost.[2]

K porušení břitu lomem nebo vydrolením dochází v důsledku cyklického namáhání, které můžeme pozorovat nejen při „klasickém“ přerušovaném řezu (frézování nebo soustružení ploch přerušených např. drážkou nebo otvorem), ale i při nepřerušovaném řezu.[2]

I za podmínek plynulého řezu dochází v důsledku periodického kolísání hlavní složky řezné síly k cyklickému zatížení břitu. V tomto případě je frekvence závislá především na charakteru vzniklé třísky, resp. Na velikosti elementu třísky. Zkušenosti ukazují, že zejména u těžkoobrobitelných materiálů, např. austenitických ocelí, dochází zejména při vyšších řezných rychlostech, k lokalizaci plastické deformace ve smykové rovině a ke vzniku výrazněji oddělených elementů plynulé třísky. Následkem toho kolísá řezná síla v podstatně větší míře než u jiných druhů ocelí. Větší amplituda hlavní složky řezné síly zvyšuje tudíž nebezpečí vzniku únavového lomu, ale za určitých podmínek roste i intenzita a mění se charakter jeho opotřebení otěrem nebo se může projevit jako mikroskopické vydrolení břitu.[2]

1.5.1 Mechanický ráz při vnikání břitu do obrobku

Při vniknutí břitu do obrobku dochází ke krátkodobému nárůstu především hlavní složky řezné síly. Tento nárůst může dosáhnout v některých případech až násobku její střední hodnoty po vřezání břitu do obrobku. Velikost tohoto nárůstu je závislá na době vniknutí břitu do obrobku, tj. době, za kterou se od prvního kontaktu „vřeže“ břit na plný průřez třísky. Doba vnikání závisí na vzájemné poloze povrchu obrobku a čela nástroje. Jestliže dojde k prvnímu kontaktu mezi břitem v celém průřezu třísek najednou, je doba vnikání teoreticky nulová a nárůst řezné síly způsobený rázem

dosáhne maxima. Čím pozvolnější je vřezávání břitů na plný průřez třísky, tím menší je nárůst řezné síly. Pro křehké porušení břitů je však důležité místo na čele vyměnitelných břitových destiček, ve kterém dojde k prvnímu dotyku s obrobkem. Pokud dojde k prvnímu dotyku na špičce nebo na ostří, může jít z hlediska křehkého porušení břitů o nebezpečnější případ.[2]

1.5.2 Teplotní ráz při výstupu břitů z obrobku

V důsledku rychle se měnící fáze řezání, při kterém dochází k ohřevu břitů a jeho následnému ochlazení při výstupu z řezu, je břit vystaven dalšímu cyklickému namáhání teplotními rázy. Teplotní rázy jsou příčinou střídavého tahového a tlakového napětí v povrchových vrstvách vyměnitelných břitových destiček. Cyklické změny napětí mohou být příčinou vzniku mikroskopických trhlinek v oblasti ostří. Tyto trhlinky mohou svým vrubovým účinkem způsobit křehké porušení břitů.[2]

Břit se ve fázi vnikání (vřezávání) do obrobku ohřeje, čímž teplota povrchových vrstev velmi rychle vzrůstá. Sousední vrstvy ležící dále od povrchu jsou chladnější a brání povrchovým vrstvám v prodloužení, které by odpovídalo jejich ohřevu. Tím vznikne na povrchu tlakové napětí, které přechází v určité vzdálenosti od povrchu v napětí tahové. V okamžiku, kdy vyjde břit ze záběru, dojde k intenzivnímu ochlazování povrchových vrstev. Protože pokles teploty vrstev vzdálených od povrchu neprobíhá tak rychle, vznikne tím v povrchové vrstvě tahové napětí, které se v určité vzdálenosti od povrchu mění v tlakové. Toto kolísání napětí může superpozicí s napětím vzniklým mechanickým rázem způsobit vznik trhlín a následného křehkého porušení břitů.[2]

Zvýšení odolnosti břitů proti teplotním rázům napomáhá vysoká pevnost v tahu, vysoká tepelná vodivost (která vede k menším teplotním gradientům), nízký modul pružnosti a nízký součinitel tepelné roztažnosti.

Z uvedeného výkladu vyplývá, že mechanickým rázem může dojít k destrukci břitů při vnikání do obrobku. Při výstupu břitů je pro eventuální destrukci břitů rozhodující teplotní ráz.[2]

1.5.3 Hodnocení odolnosti slinutých karbidů proti teplotním rázům

V minulosti se vyskytly snahy o určení tzv. čísla odolnosti proti teplotním rázům s přihlédnutím k některým fyzikálním a mechanickým vlastnostem materiálu určenými laboratorními zkouškami. Na základě měření modulu pružnosti E , součinitele tepelné roztažnosti, tepelné vodivosti a pevnosti R_m byl sestaven empirický vztah pro výpočet čísla odolnosti teplotním rázům O .

Možnost hodnocení odolnosti SK proti teplotním rázům byla experimentálně ověřena ve VÚOSO Praha. Tato metoda rozlišila materiály SK s různým obsahem pojící fáze, tedy materiály skupin P10, P20, P30, P40.[2]

Tento způsob hodnocení odolnosti SK proti teplotním rázům nenašel širší použití. Stanovení vstupních hodnot je pracné a časově náročné. Navíc nemůže výpočet hodnoty „ O “ vzít v úvahu homogenitu břitu v oblasti ostří. Nehomogenita břitu má v tomto případě větší negativní vliv než základní fyzikální a mechanické vlastnosti slinutých karbidů při odolnosti proti rázům. Zejména povlakování vyměnitelných břitových destiček a další úpravy břitu (broušení) mohou rozhodovat o homogenitě ostří takovou měrou, že výsledná skutečná odolnost proti teplotním rázům může být zásadně odlišná.[2]

Proto se jako efektivní ukazují technologické zkoušky soustružení s přerušovaným řezem nebo frézováním, které umožňují měnit poměr doby záběru k době přerušování řezu a frekvenci mechanických a teplotních rázů v širokém rozmezí. Rozhodující je v tomto případě tvar zkušebních obrobků.[2]

Hodnocení odolnosti vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů proti rázům se provádí některou z následujících technologických zkoušek na různých obrobcích:

- podélné soustružení zkušebního obrobku (válce), který má v podélných drážkách ocelové desky – lopatky;
- podélné soustružení válce s podélnými drážkami;
- čelní soustružení zkušebního obrobku s válcovými čepy;
- čelní frézování zkušebního obrobku se silně přerušovaným řezem.

1.6 Technologické zkoušky odolnosti proti teplotním a mechanickým rázům

1.6.1 Válec s ocelovými lopatkami

Při podélném soustružení je nůž během jedné otáčky dvakrát v záběru. Zkušební břit je tak vystaven dvěma mechanickým rázům a dvěma teplotním rázům během jedné otáčky.

Kritériem odolnosti břitu je počet hřebenovitých trhlin kolmých na břit. S dobou obrábění počet těchto trhlin vzrůstá a po dosažení určitého počtu rázů obvykle dochází k destrukci břitu. Kritériem odolnosti proti rázům je mezní počet rázů, při kterém dojde k destrukci břitu. Pokud nedojde k destrukci břitu (zejména u houževnatých druhů), hodnotí se odolnost proti rázům počtem hřebenovitých trhlin.[12]

U tohoto zkušebního obrobku je úhel záběru při vnikání břitu konstantní, a proto je i velikost mechanického rázu během celé zkoušky stálá. Fáze ochlazení je vzhledem ke tvaru obrobku podstatně delší než doba záběru. Při zkouškách prováděných ve VÚOSO byla celková doba záběru 1/10 otáčky. Vzhledem ke stálé době, po kterou je břit během jedné otáčky ochlazován, lze předpokládat, že i teplotní rázy budou konstantní. Zkouška poměrně spolehlivě odliší materiály s různým obsahem pojící fáze, jak je zřejmé z výsledků uvedených v tabulce.[12]

Zkušební obrobek (lopatky) zachovává konstantní úhel záběru a konstantní podíl fáze řezání a ochlazování. Frekvence rázů je poměrně nízká, což vede k delší časové i materiálové náročnosti zkoušky. Její nevýhodou je výroba náhradních lopatek - frézováním. Vzhledem ke konfiguraci obrobku nelze zvyšovat jeho otáčky neomezeně, neboť je problematické jeho vyvážení při vysokých otáčkách. Výhodou pro zkoušku soustružení lopatek je fakt, že její metodika byla zpracována ve formě směrnice VDI.[12]

1.6.2 Válec s podélnými drážkami

Zkušební obrobek má vyfrézovány obvykle dvě drážky (může jich být i více). V porovnání se zkušebním obrobkem s lopatkami je zde obrácený poměr doby záběru břitů a doby mimo řez, tedy fáze ochlazování.[12]

Oproti zkušebnímu obrobku s lopatkami dochází v případě drážek ke kratší době ochlazování, což vede k menšímu kolísání teploty břitů a tudíž k menším teplotním rázům. Při menších teplotních rázech dochází ke vzniku nárůstu počtu hřebenovitých trhlin pomaleji než u lopatek, čímž se zkouška stává časově náročnější. To potvrzují výsledky zkoušek, provedených ve VÚOSO Praha. U obou zkušebních obrobků byl měřen průběh teploty v těsné blízkosti ostří. Měření teploty bylo provedeno termočlánkem železo-slinutý karbid, umístěným v těsné blízkosti ostří.[12]

Výsledky měření průběhu teploty v blízkosti ostří uvedené na oscilografickém záznamu potvrzují, že u obrobku - lopatek - je kolísání řezné teploty během jedné otáčky obrobku podstatně větší než u obrobku s drážkami. Vzhledem ke stejnému úhlu záběru při vnikání břitů do obrobku, a tudíž vzhledem ke stejným mechanickým rázům, lze dojít na základě těchto výsledků k závěru, že hlavní příčinou rychlejšího růstu hřebenovitých trhlin u obrobku s lopatkami *jsou především teplotní rázy*. [12]

1.6.3 Obrobek s válcovými čepy

Další metodou pro hodnocení odolnosti břitů VBD proti mechanickým a teplotním rázům je čelní soustružení zkušebního obrobku s válcovými čepy.[12]

Při této metodě se soustruží zkušební obrobek sestávající z osmi válcových čepů čelně od středu směrem k obvodu obrobku. Břítová destička upnutá v držáku nožové hlavy je během jedné otáčky vystavena osmi teplotním a mechanickým rázům.[12]

Zkouška hodnotí únavovou pevnost břitů při konstantní frekvenci zatěžující síly 8 rázů za jednu otáčku. Při řezné rychlosti $v_c = 150 \text{ m.min}^{-1}$, měřené na obvodu upínací desky, která odpovídá otáčkám $n = 170 \text{ min}^{-1}$, jde o frekvenci $1364 \text{ cyklů.min}^{-1}$, tj. $22,7 \text{ cyklů.s}^{-1}$. V porovnání se zkouškou podélným soustružením lopatek je za předpokladu shodné řezné rychlosti $v_c = 150 \text{ m.min}^{-1}$ tato frekvence čtyřnásobná.[12]

Velikost zatěžující síly, a tím i velikost mechanického rázu, lze u této zkoušky stejně jako u lopatek ovlivnit volbou posuvu.[12]

Podle schematického průběhu zatěžující síly je patrné, že obvod zkušební obrobku, tj. 8 čepů, je rozvinut do přímky na vodorovné ose a na svislé ose je naznačena velikost a průběh hlavní síly F_C během jedné otáčky při použití tří různých posuvů. Při vřezávání břitů dochází k mechanickému rázu - nárůstu složky F_C celkem osmkrát za otáčku. Jelikož se při úběru jedné vrstvy zkušební obrobku (jedné hloubky řezu) mění úhel záběru, mění se i doba vnikání břitu, a tím i velikost mechanického rázu.[12]

Během odřezávání jedné vrstvy se postupně mění poměr délky fáze řezání a ochlazování (břit mimo záběr). V důsledku této změny se mění i velikost teplotních rázů během odřezávání jedné vrstvy. Zkoušku čelním soustružením lze charakterizovat jako zkoušku odolnosti břitu proti cyklickému zatížení mechanickými a teplotními rázy. Tyto rázy mohou vést k vytvoření počátečních mikroskopických trhlin v břitu. Tyto trhliny se opakovaným zatěžováním rozšiřují a po určitém počtu rázů vedou obvykle k destrukci břitu.[12]

Na rozdíl od soustružení lopatek se tudíž během úběru jedné vrstvy (jedné hloubky řezu) mění plynule velikost teplotních i mechanických rázů. Tato skutečnost znamená v porovnání se soustružením lopatek určitou nestabilitu zkušebních podmínek během zkoušky. Jestliže však uvážíme, že tyto zkoušky porovnávají obvykle vlastnosti různých zkušebních vzorků, potom je "systém proměnlivosti" zatížení ve všech případech stejný.[12]

Podstatně vyšší frekvence rázů vede ke zkrácení těchto zkoušek. Mezního počtu rázů, při kterém dojde k destrukci břitu, je dosaženo dříve. Z toho vyplývá i podstatně menší časová i materiálová náročnost zkoušky, která umožňuje provést více opakovaných zkoušek určitého zkušební vzorku. [12]

Rovněž výroba náhradních čepů a jejich montáž do unášecí desky je podstatně rychlejší. Bez významu není jistě ani skutečnost, že náhradní čepy lze vyrobit ze zbytků zkušebních válců po zkouškách trvanlivosti - podélném soustružení. V průběhu aplikace zkoušek čelního soustružení obrobku s čepem byl zjištěn v mnoha případech vyšší rozptyl

výsledků - mezního počtu rázů hodnotícího odolnost břitů VBD proti rázům v porovnání s výsledky trvanlivosti při podélném soustružení. [12]

1.6.4 Dynamicky přerušovaný řez

Pro hodnocení odolnosti VBD proti teplotním a mechanickým rázům lze rovněž použít i metodu čelního frézování zkušební obrobku se silně přerušovaným řezem.

Obrobek je tvořen několika deskami upnutými pomocí mezivložek, v jejichž mezerách dochází k přerušovanému řezu. Břit zkušební VBD upnuté ve frézovací hlavě periodicky zabírá a vychází z řezu. Úhel záběru zde dosahuje pozitivních a negativních hodnot. Odolnost břitů se hodnotí opět počtem rázů do destrukce břítu.[12]

Vzhledem k poměrně krátké fázi ochlazování a k silně proměnlivému úhlu záběru během jedné otáčky frézy hodnotí tato zkouška především vliv mechanického rázu na odolnost destičky. [12]

Pokud bude zkouška přerušovaným řezem používána při vývoji nových materiálů VBD, potom lze doporučit pro porovnání různých vývojových variant vyměnitelné břitové destičky bez utvařeče s rovinným čelem pro snížení rozptylu výsledků mezního počtu rázů.[12]

1.7 Měření teploty při obrábění

Pro měření teploty je možno použít mnoho chemických či fyzikálních jevů. Jelikož se při obrábění musí brát v potaz mnoho proměnných, tak lze využívat jen některé metody.

U experimentů, nebo praktickém měření lze využívat hlavně těchto jevů:

- Termoelektrický jev (termočlánky),
- změna elektrického odporu (termistory),
- tepelné záření (termovce, fotometrie),
- změna struktury (teploměrné křídly a barvy).[5]

Zařízení k měření teploty při obrábění se většinou skládají z:

- Snímač teploty,
- Převodových nebo přenosných členů,
- Indikátorů měřené veličiny.

V procesu se snímače, umísťují přímo do soustavy stroj-nástroj-obrobek, a dle tohoto umístění jsou označovány jednotlivé měřicí metody.

1.7.1 měření teploty termočláanky

Při tomto měření se využívá termoelektrického jevu. Využitím termoelektrického napětí v obvodu, který je tvořen dvěma odlišnými vodiči, které jsou vodivě spojeny a jsou udržovány na odlišných teplotách. Využijeme ho když, měřicí spoj vložíme do místa měřené teploty a srovnávací spoj udržujeme na známé teplotě (teplota okolí). A následně k těmto spojům připojíme milivoltmetr. Termoelektrické napětí, ale závisí na více faktorech např. druhu materiálů vodičů, a ne jen na rozdílu teplot.

U praktického měření můžeme využívat jen některé dvojice kovů nebo slitin. Při určování jaké dvojice kovů použijeme, musíme dbát, aby termoelektrické napětí bylo dostatečně velké, vzhledem k rozdílu teplot. Vodiče bychom měli kombinovat tak aby měly dobrou odolnost proti korozi a chemickou stálost.

1.7.2 Měření pomocí termistorů

Měření teploty termistory je založeno na principu využití teplotní závislosti elektrického odporu materiálu. U kovů s rostoucí teplotou elektrický odpor roste, naopak u polovodičů klesá. Vzhledem ke specifickým podmínkám procesu obrábění se téměř výhradně používají polovodičové materiály, které se nazývají termistory. Pod tímto pojmem se rozumí nelineární elektrické součásti, které mají vysokou závislost elektrického odporu na teplotě.[5]

1.7.3 Měření pomocí pyrometrů

Což jsou v podstatě bezdotyková měřidla, a teplotu snímají na základě tepelného záření. Využíváme je u experimentálního měření zejména k měření povrchové soustavy (stroj- nástroj- obrobek).

Dle využití používáme dva druhy:

- úhrnné pyrometry (radiační),
- fotoelektrické pyrometry (pásmové).

1.7.4 Teplotní indikátory

Jsou to vlastně termochemické teploměry, kterými lze naměřit místa, kde je stejná teplota tzv. izotermy. Když tuto látku nanese na vzorek a dosáhneme určité teploty tak změní barvu, nebo skupenství. Při měření teploty indikátory nelze získat přehled o teplotě, kde se stýká obráběcí nástroj s třískou, a také lze použít jen pro určitý rozsah teplot.

Nejpoužívanější indikátory jsou: teploměrné barvy, tužky, tužky nebo vosky.



Obrázek 5 – Vlevo na obrázku je termistor, uprostřed termočlánek a napravo pyrometr.[10] [13] [14].

2 Popis metody zkoušení odolnosti SK proti tepelným rázům.

Zkouška byla provedena ve firmě Pramet Tools v Šumperku na frézovacím centru Kovosvit MAS – MCV 1270 power, s řídicím systémem Heidenhain iTCN 530 (viz. Obrázek 6).



Obrázek 6 - Frézovací obráběcí centrum.

Vzorky jsou destičky ze slinutého karbidu s různým obsahem Kobaltu a různou velikostí zrna. Vzorků je 12 a jsou označeny A – L (viz. Tabulka 2). Vzorky lze vidět na (Obrázku 7).

Každý zkoušený slinutý karbid má základ WC-Co v tabulce jsou zobrazeny pouze přísady.

Tabulka 2 - Značení a složení SK destiček

Označení	Složení	Obsah kobaltu[%]	Velikost zrna
A	+Cr ₃ C ₂	7	0,6-1,2 μm
B	+Cr ₃ C ₂	10	0,6-1,2 μm
C	+Cr ₃ C ₂	13	0,6-1,2 μm
D	+TaNbC	8	1,2-2 μm
E	+TaNbC	10,2	1,2-2 μm
F	+TaNbC	12	1,2-2 μm
G	+ 19 hm% (Ti,Ta,Nb)C	8,6	1,6-3 μm
H	+12,5 hm% (Ti,Ta,Nb)C	8	1,6-3 μm
I	+12 hm% (Ti,Ta,Nb)C	11	1,6-3 μm
J	+20hm% (Ti,Ta,Nb)C	9,6	1,6-2 μm
K	+Cr ₃ C ₂	13	1,2-2μm
L	+TaNbC	9	1,6-3 μm



Obrázek 7 - Vzorky SK destiček

Vzorky byly upnuty ve frézovací hlavě (Obrázek 3). Byly upnuty pomocí šroubů, a chlazení bylo zajištěno chladicí kapalinou.



Obrázek 8 - Frézovací hlava

Tabulka 3. Při frézování, byly nastaveny tyto řezné parametry.

Vzorek	Průměr frézy ϕD	Uhel Nast. $\chi_R [^\circ]$	Zubů [-]	Řezná rychlost v_c [m/min]	Otáčky [-]	posuv na zub f_z [mm]
A-L	100	75°	1	420	1 319	0,1

Vzorek	Posuv na otáčku f_{ot} [mm]	Posuv f_{min} [mm/min]	Hloubka záběru a_p [mm]	Šířka řezu a_e [mm]	Dráha L [mm]
A-L	0,1	132	2,5	50	300

Měření trhlin na břitu bylo provedeno na rastrovacím Elektronovém mikroskopu, na vysoké škole báňské technické univerzitě Ostrava, na katedře Materiálového inženýrství. Používalo se nastavení na zpětný odraz elektronů (BES), a na topograficky a materiálový kontrast.



Obrázek 9 - Elektronový mikroskop

Elektronový mikroskop

Je to optický přístroj, kde namísto Fotonů jsou Elektrony a místo optických čoček jsou čočky elektromagnetické, což je v podstatě cívka, která vytváří správně tvarované magnetické pole. Základním parametrem u všech mikroskopů je jejich mezní

rozlišovací schopnost. Jelikož mezní rozlišovací schopnost je úměrná vlnové délce záření a elektrony mají kratší vlnovou délku než má viditelné světlo, má elektronový mikroskop vyšší rozlišovací schopnost a může tak disponovat mnohem vyšším efektivním zvětšením (až 1 000 000×) než světelný mikroskop.

U elektronových mikroskopů rozeznáváme dva typy:

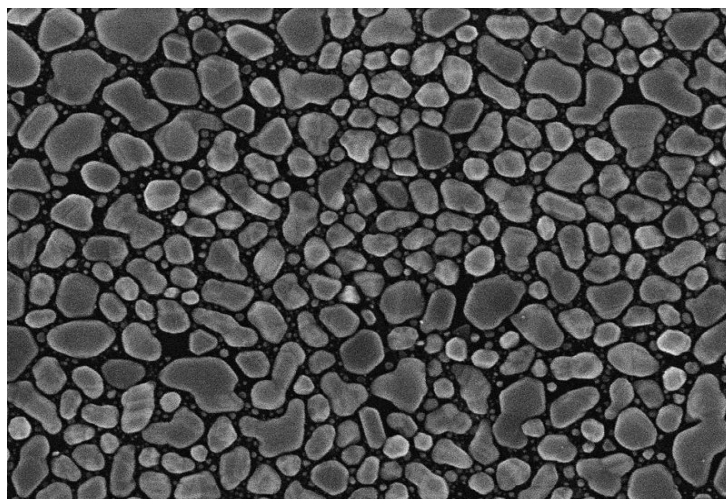
- Transmisní elektronový mikroskop,
- rastrovací elektronový mikroskop (SEM).

Detektory SEM

- SE – detektor sekundárních elektronů,
- BSE – detektor zpětně odražených elektronů,
- TE – detektor prošlých elektronů,
- EDS / WDS- detekce charakteristického RTG záření. Metoda dokáže zjistit jaké prvky a v jakém množství se nacházejí ve vzorku,
- EBSD – difrakce zpětně odražených elektronů. Metoda dokáže přesně zjistit orientaci krystalové mřížky ve studovaném vzorku.[3]

Rozlišovací schopnost mikroskopu

Rozlišení mikroskopu je daleko významnějším parametrem, než je jeho zvětšení. Jestliže mikroskop nemá dostatečnou rozlišovací schopnost, nelze se zvětšováním dostat k více informacím. Rozlišení závisí na nastavení (např. urychlovacím napětí) a detekovaném signálu. Proto bychom měli vždycky uvádět, za jakých podmínek jsme rozlišení dosáhli. Rozlišovací schopnost lze prokazovat pomocí vhodných vzorků. U SEM se používá zlato na uhlíkové podložce. Toto složení Zlata a uhlíků se používá k dosažení co největšího kontrastu, protože tyto prvky mají velký rozdíl ve svém atomovém čísle.



Obrázek 10 - zlato na uhlíkové podložce [3]

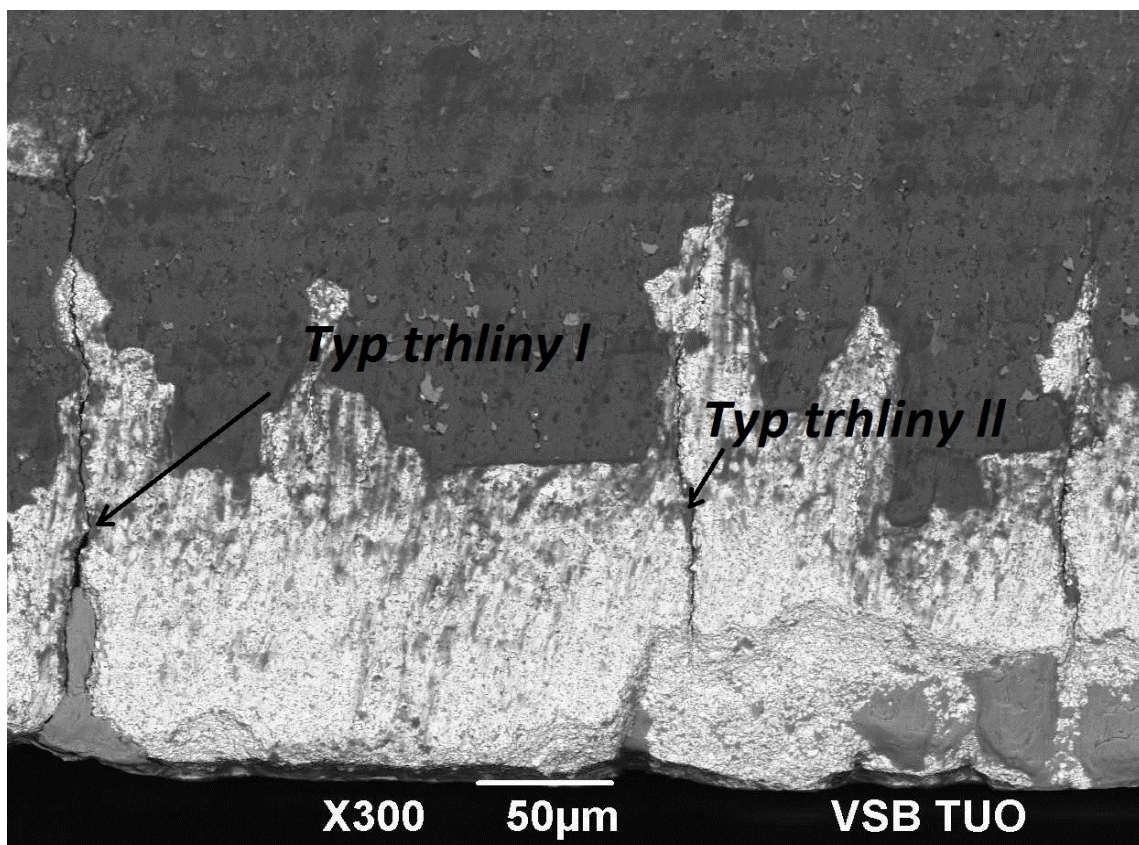
3 Experimentální část

V experimentální části se zaměřujeme na vyhodnocení délek trhlin a jejich četnost na čele bříty nástroje. Z toho pak vyvodíme jaké chemické složení, a obsah kobaltu je nejideálnější pro výrobu destiček ze slinutého karbidu.

Tabulka 4 – jednotlivé délky trhlin vzorku A

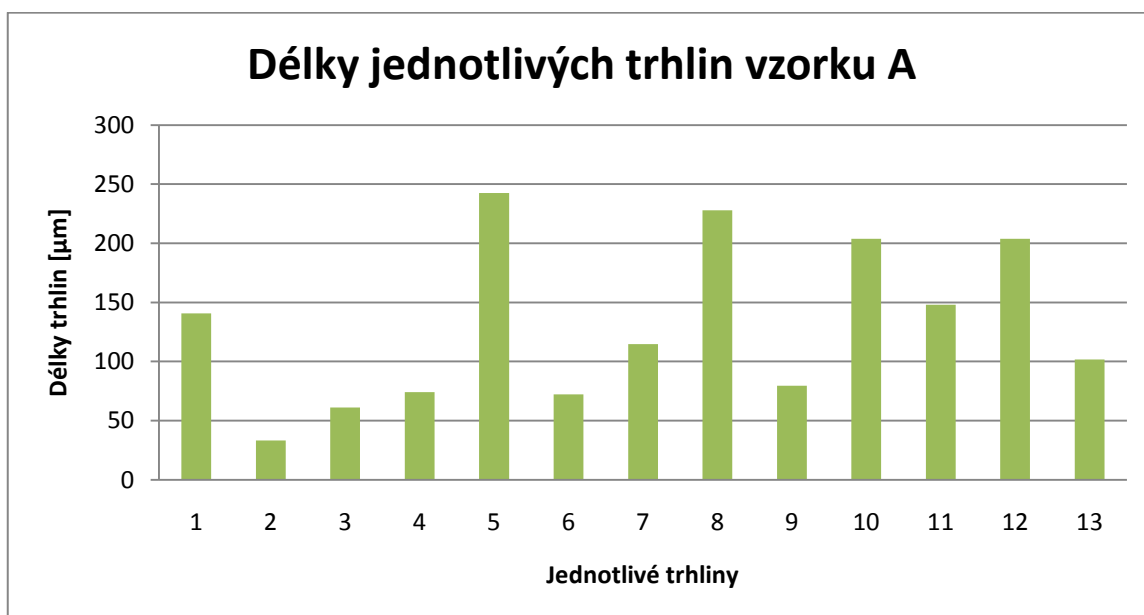
vzorek A	délky trhlin (μm)	typ trhliny
1	140,75	I
2	33,33	II
3	61,11	II
4	74,074	II
5	242,59	I
6	72,22	II
7	114,81	II
8	227,77	I
9	79,63	II
10	203,7	II
11	148,15	II
12	203,7	II
13	101,85	I

U prvního vzorku A bylo naměřeno 13 trhlin z toho 4 typu I a 9 typu II. U složení WC-Co+Cr₃C₂ a obsahem kobaltu 7% při velikosti zrna 0,6 – 1,2 μm .



Obrázek 10 ukázka typu trhlín.

Na obrázku lze vidět dva typy trhlín, které jsme naměřili na elektronovém mikroskopu, a následně vyhodnotili tak že se trhliny změřily pravítkem a podle měřítka uvedeného na fotce přepočítaly do skutečných hodnot v μm . Lze vidět, že typ trhliny I začíná hned na začátku čela bříty, a typ II vzniká za hranou čela bříty.

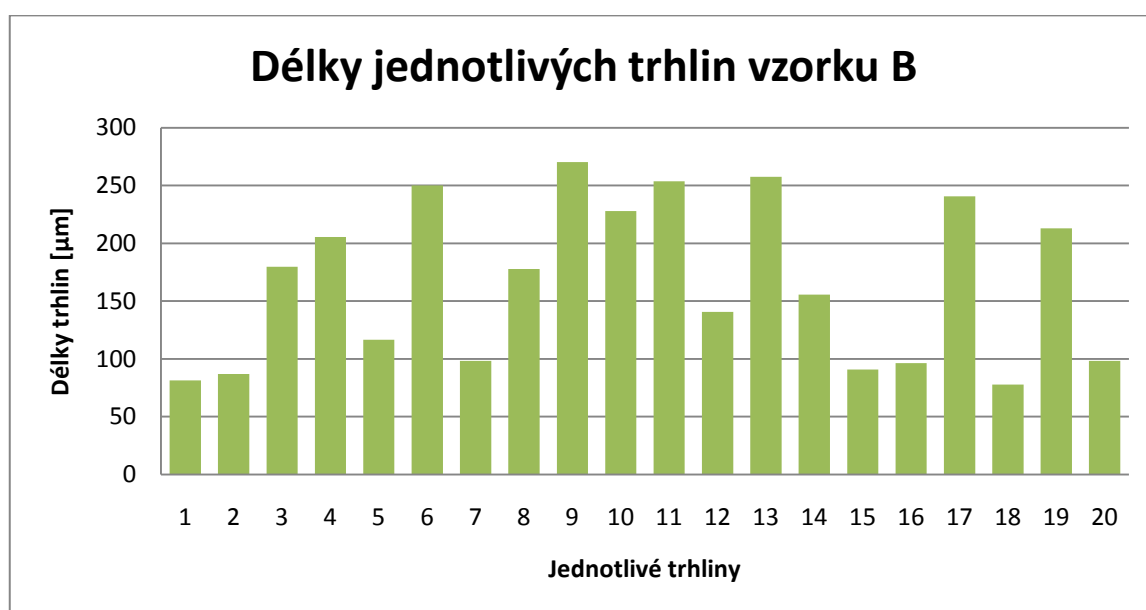


Graf 1 – Jednotlivé délky trhlín na čele bříty SK destičky vzorku A.

Tabulka 5 – Jednotlivé délky trhlin vzorku B

vzorek B	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	81,48	II
2	87,037	II
3	179,63	II
4	205,55	II
5	116,66	II
6	250	I
7	98,15	II
8	177,77	II
9	270,37	I
10	227,77	II
11	253,704	I
12	140,74	II
13	257,41	I
14	155,55	II
15	90,74	II
16	96,29	II
17	240,74	I
18	77,78	II
19	212,96	I
20	98,15	I

Vzorek B obsahuje 20 trhlin z toho 7 trhlin typu I a 13 trhlin typu II, tento vzorek má složení +Cr3C2 s obsahem kobaltu 10 a velikosti zrna 0,6 – 1,2 μm .

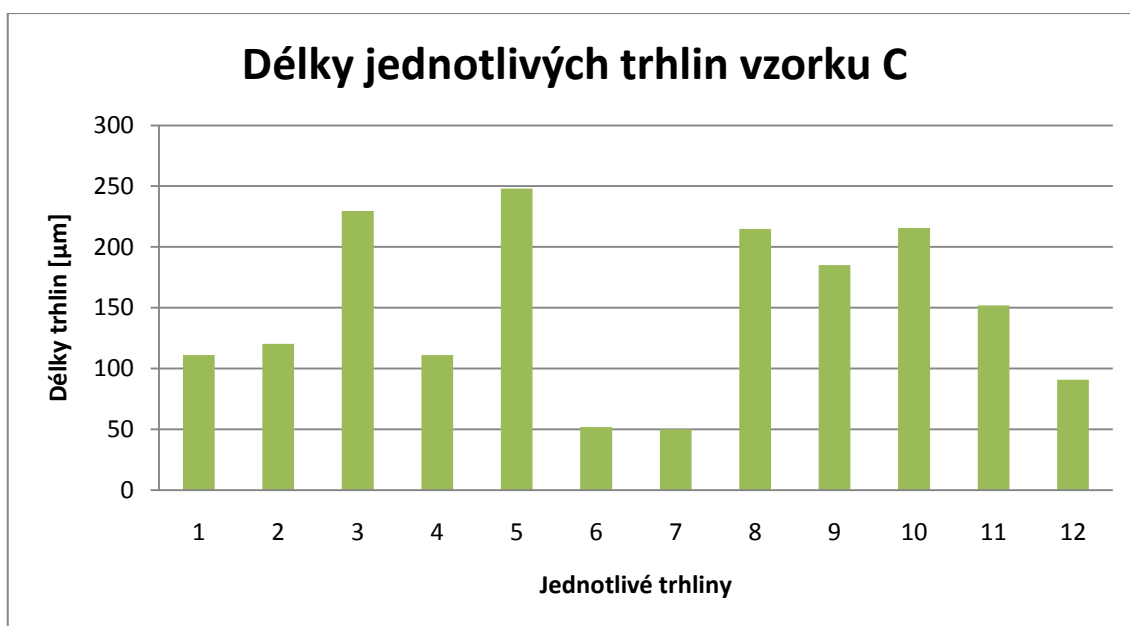


Graf 2 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku B.

Tabulka 6 – Jednotlivé délky trhlin vzorku C

vzorek C	délka trhliny (μm)	typ trhliny
1	111,11	II
2	120,37	II
3	229,63	I
4	111,11	II
5	248,15	I
6	51,85	II
7	50	II
8	214,81	I
9	185,18	II
10	215,66	I
11	151,85	II
12	90,74	II

Vzorek C obsahuje 12 trhlin, z toho jsou 4 trhliny typu I a 8 trhlin typu II. Tento vzorek má složení +Cr3C2 obsahem kobaltu 13 a velikosti zrna 0,6 – 1,2 μm .

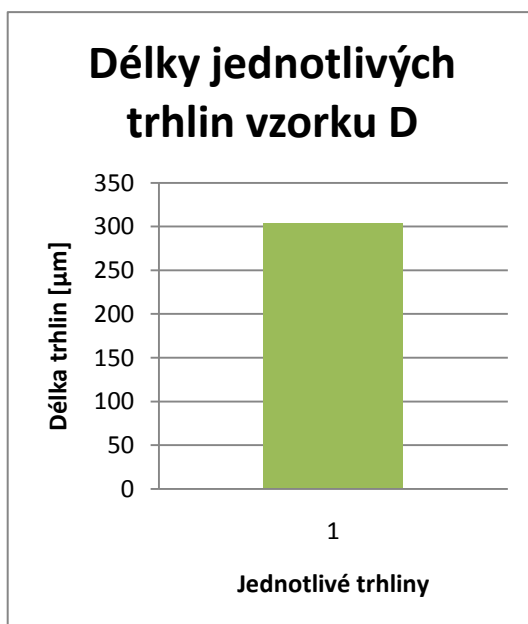


Graf 3 - Jednotlivé délky trhlin na čele břitu SK destičky vzorku C.

Tabulka 7 – Jednotlivé délky trhlin vzorku D

vzorek D	délka trhlin (μm)	typ trhlin
1	303,7	I

Vzorek D obsahuje pouze jednu trhlinu typu I, trhlinu na břitu je pouze jedna, ale je poněkud dlouhá. Tento vzorek má složení +TaNbC obsahem kobaltu 8 a velikostí zrna 1,2 – 2 μm .

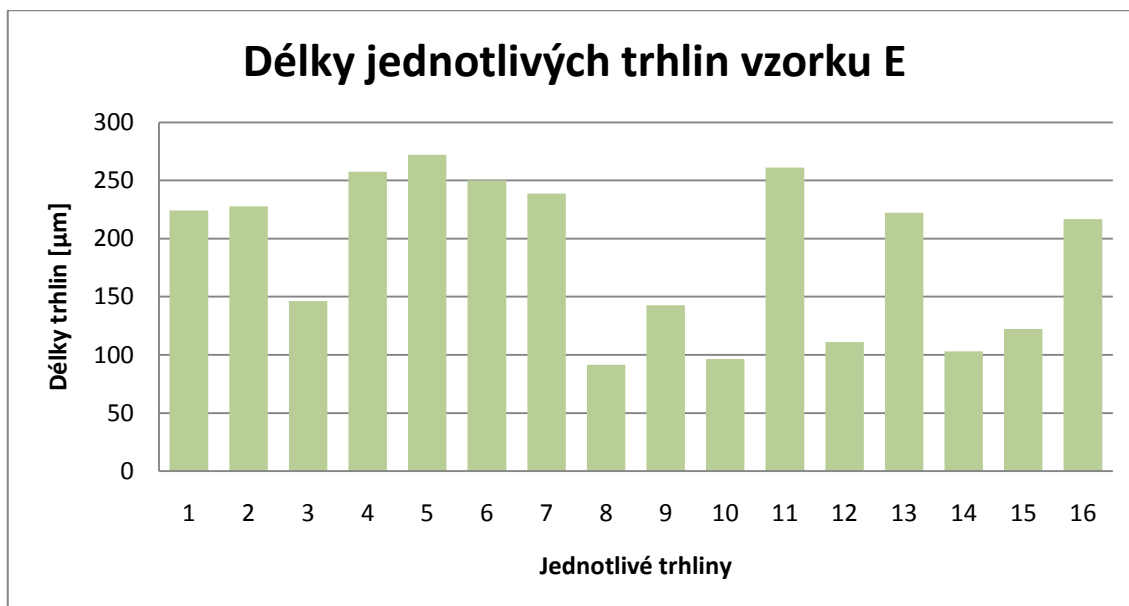


Graf 4 – Jednotlivé délky trhlín na čele břitu SK destičky vzorku D.

Tabulka 8 – Jednotlivé délky trhlín vzorku E

vzorek E	délka trhlín (μm)	typ trhlín
1	224,07	II
2	227,77	II
3	146,29	II
4	257,4	I
5	272,22	I
6	250	I
7	238,88	I
8	91,44	II
9	142,59	II
10	96,29	II
11	261,11	I
12	111,11	II
13	222,22	I
14	103,7	II
15	122,22	I
16	216,66	I

Vzorek E obsahuje 16 trhlín z toho 8 trhlín typu I a 8 trhlín typu II. Tento vzorek má složení +TaNbC při obsahu kobaltu 10,2 a velikosti zrna 1,2 – 2 μm .

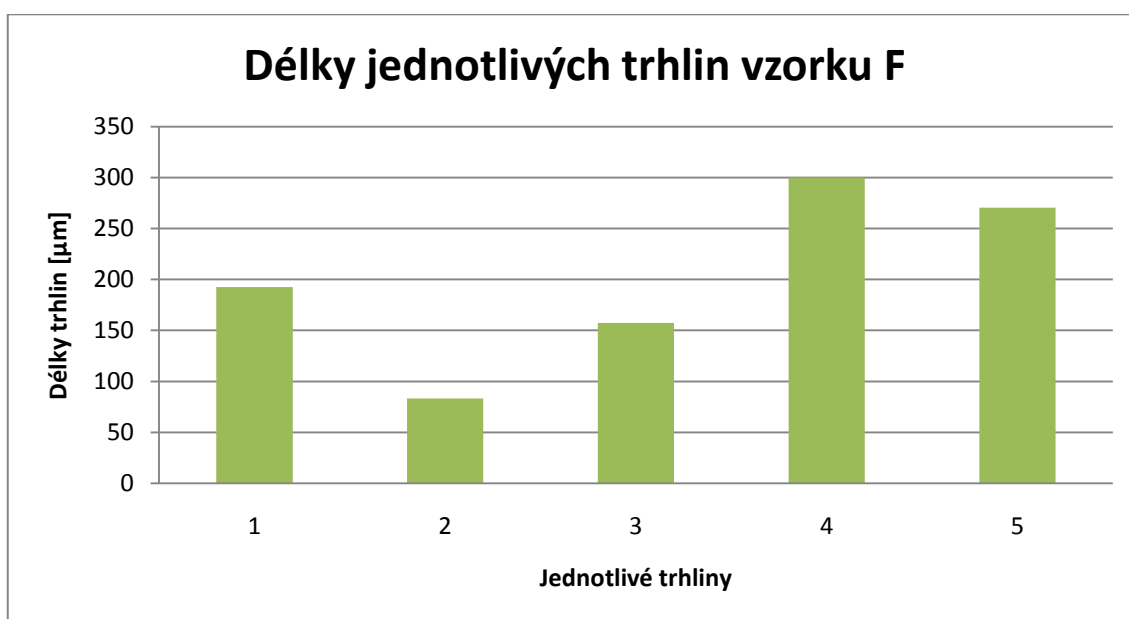


Graf 5 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku E.

Tabulka 9 Jednotlivé délky trhlin vzorku F

vzorek F	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	192,59	I
2	83,33	II
3	157,41	II
4	300	I
5	270,37	I

Vzorek F obsahuje pouze 5 trhlin z toho 3 trhliny typu I a 2 trhliny typu II. Tento vzorek má složení +TaNbC při obsahu kobaltu 12 a zrnitosti 1,2 – 2 μm .

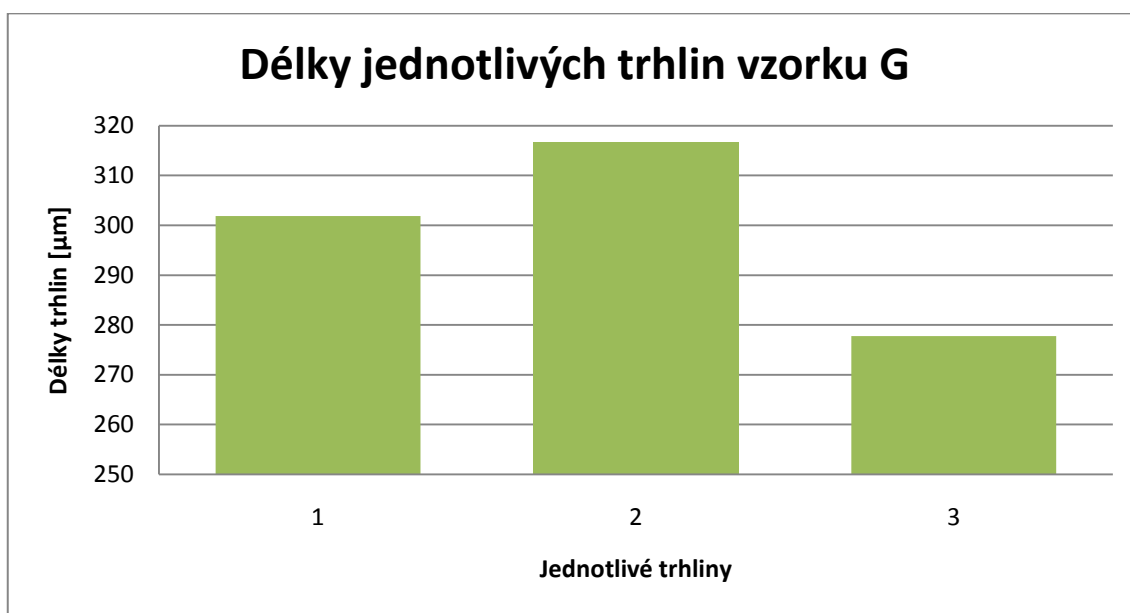


Graf 6 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku F.

Tabulka 10 - Jednotlivé délky trhlin vzorku G

vzorek G	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	301,85	I
2	316,66	I
3	277,77	I

Vzorek G obsahuje pouze 3 trhliny a všechny typu I. Složení vzorku je +19 hm% (Ti,Ta,Nb)C s obsahem kobaltu 8,6 a zrnitosti 1,6 – 3 μm .

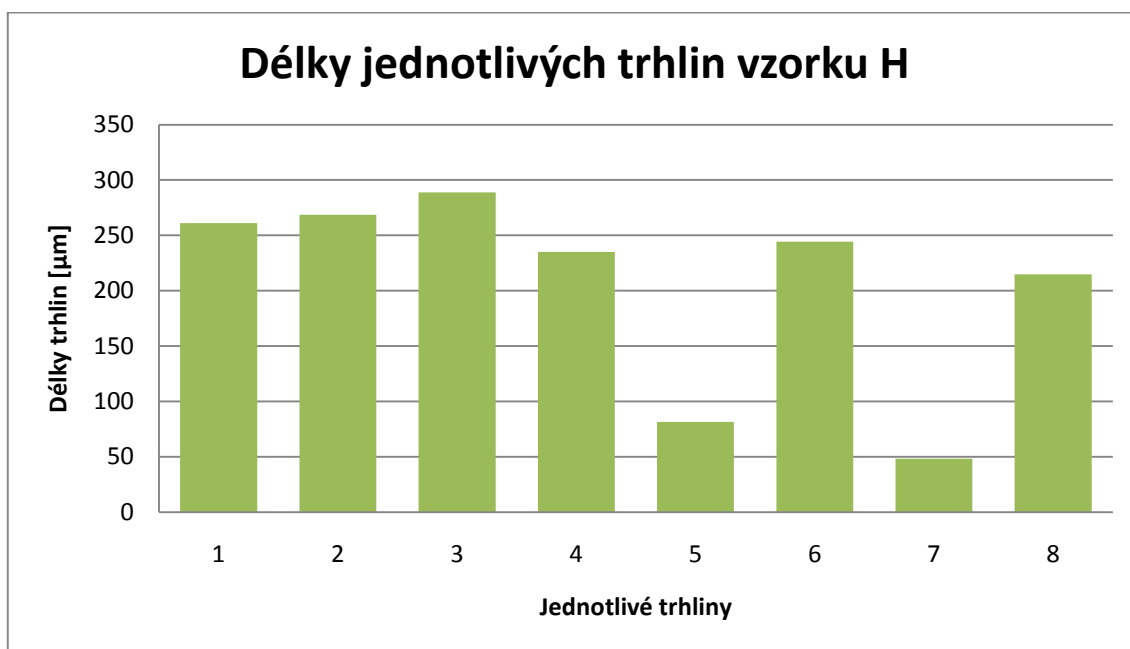


Graf 7 – Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku G.

Tabulka 11 - Jednotlivé délky trhlin vzorku H

vzorek H	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	261,11	I
2	268,52	I
3	288,88	I
4	235,18	I
5	81,48	II
6	244,44	I
7	48,15	II
8	214,81	I

Vzorek H obsahuje 8 trhlin z toho 6 trhlin typu I a 2 trhliny typu II. Složení vzorku je +12,5hm% (Ti,Ta,Nb)C a obsahem kobaltu 8 při zrnitosti 1,6 – 3 μm .

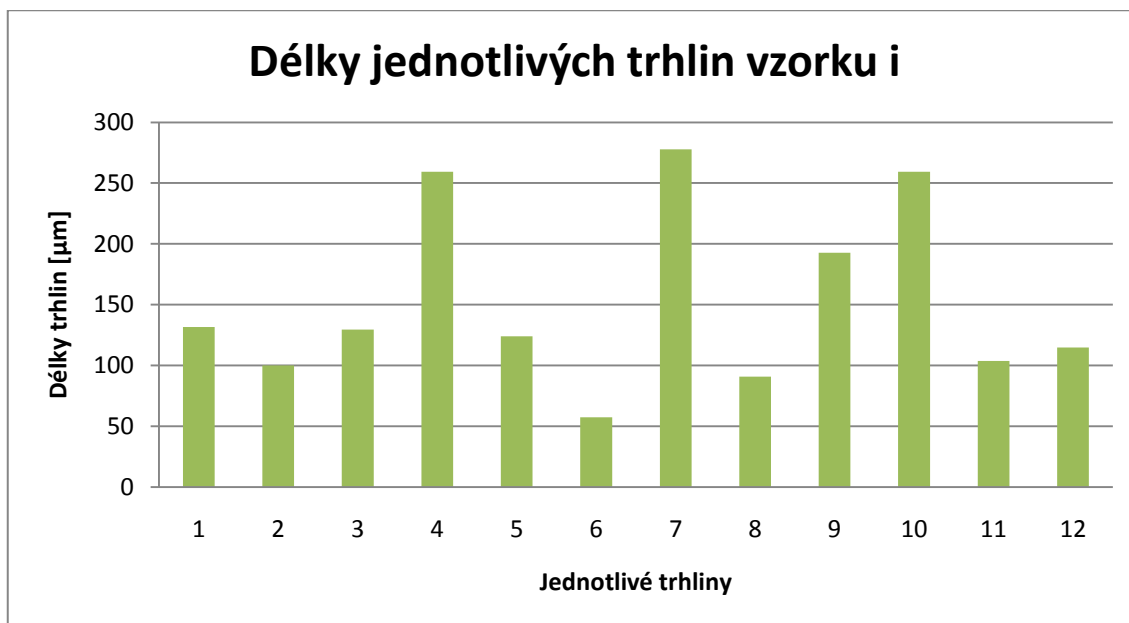


Graf 8 – Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku H.

Tabulka 12 - Jednotlivé délky trhlin vzorku i

vzorek i	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	131,48	II
2	100	II
3	129,63	II
4	259,26	I
5	124,07	II
6	57,41	II
7	277,77	I
8	90,74	II
9	192,59	II
10	259,26	I
11	103,7	II
12	114,81	I

Vzorek i obsahuje 12 trhlin, z toho 4 trhliny typu I a 8 trhlin typu II. Složení je +12hm%(Ti,Ta,Nb)C při obsahu kobaltu 11 a zrnitostí 1,6 – 3 μm.

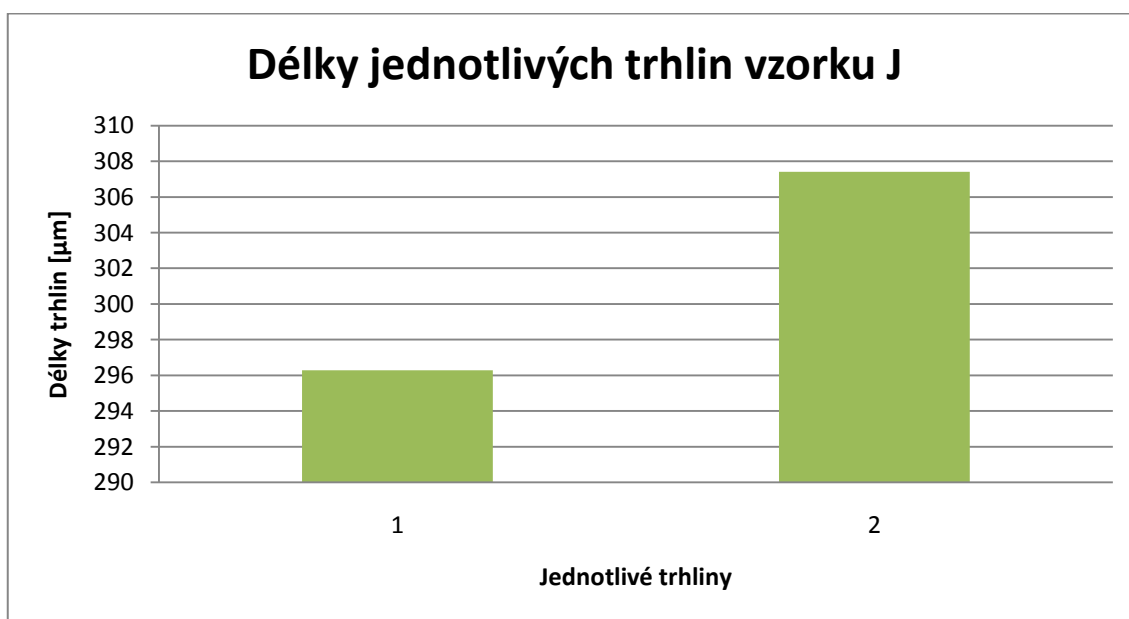


Graf 9 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku i.

Tabulka 13 - Jednotlivé délky trhlin vzorku J

vzorek J	délka trhlin (μm)	typ trhlin
1	296,29	I
2	307,41	I

Vzorek J obsahuje pouze 2 trhliny obě typu I. Vzorek je složen +20hm% (Ti,Ta,Nb)C obsahem kobaltu 9,6 a zrnitosti 1,6 – 2 μm.

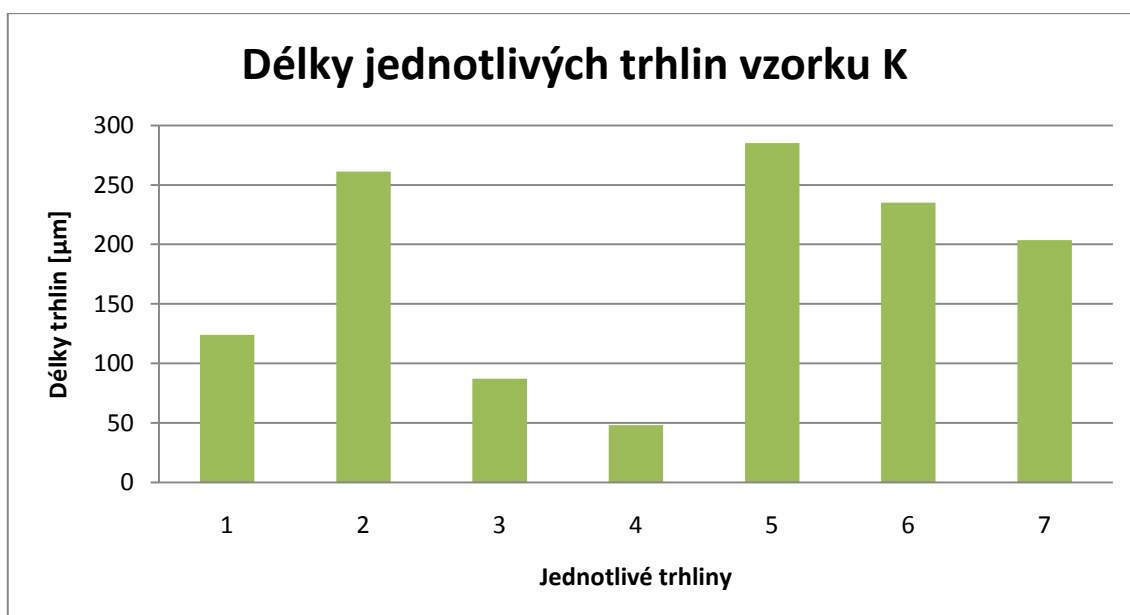


Graf 10 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku J.

Tabulka 14 - Jednotlivé délky trhlin vzorku K

vzorek K	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	124,07	II
2	261,11	I
3	87,04	II
4	48,15	II
5	285,185	I
6	235,18	I
7	203,7	I

Vzorek K má 7 trhlin z toho 4 trhliny typu I a 3 trhliny typu II. Složení vzorku je +Cr3C2 a obsahem kobaltu 13.

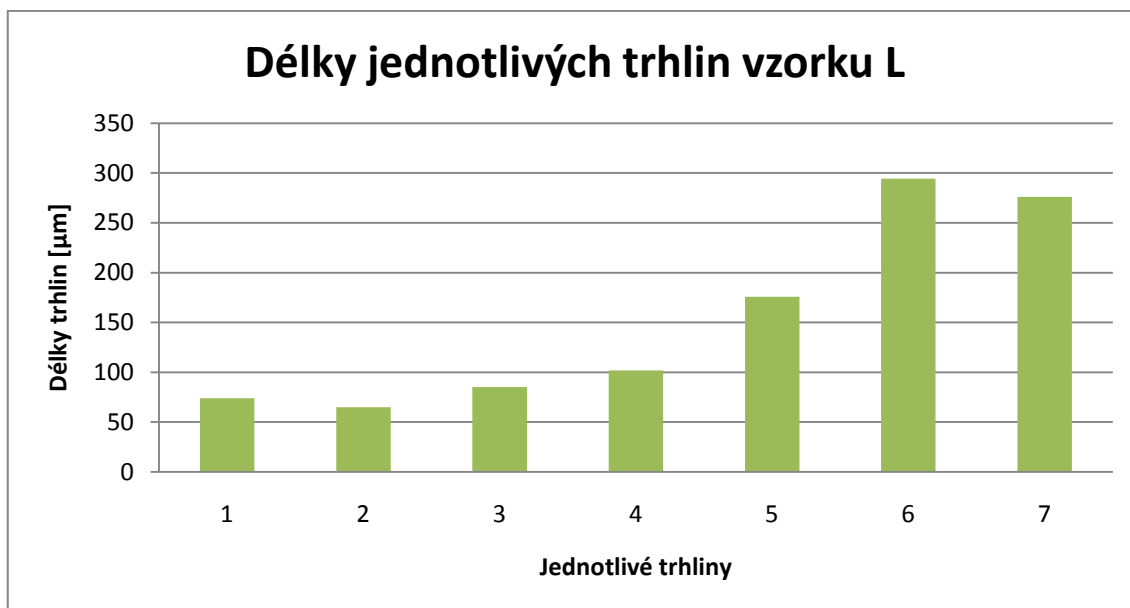


Graf 11 – Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku K.

Tabulka 15 - Jednotlivé délky trhlin vzorku L

vzorek L	délka trhlin (μm)	typ trhliny
1	74,07	II
2	64,81	II
3	85,18	II
4	101,85	II
5	175,92	I
6	294,44	I
7	275,92	I

Vzorek L obsahuje 7 trhlin z toho 3 trhliny typu I a 4 trhliny typu II. Složení tohoto vzorku je +TaNbC obsahem kobaltu 9 a velikosti zrn $1,6 - 3 \mu\text{m}$.



Graf 12 - Jednotlivé délky trhlin na čele bříty SK destičky vzorku L.

4 Vyhodnocení naměřených dat

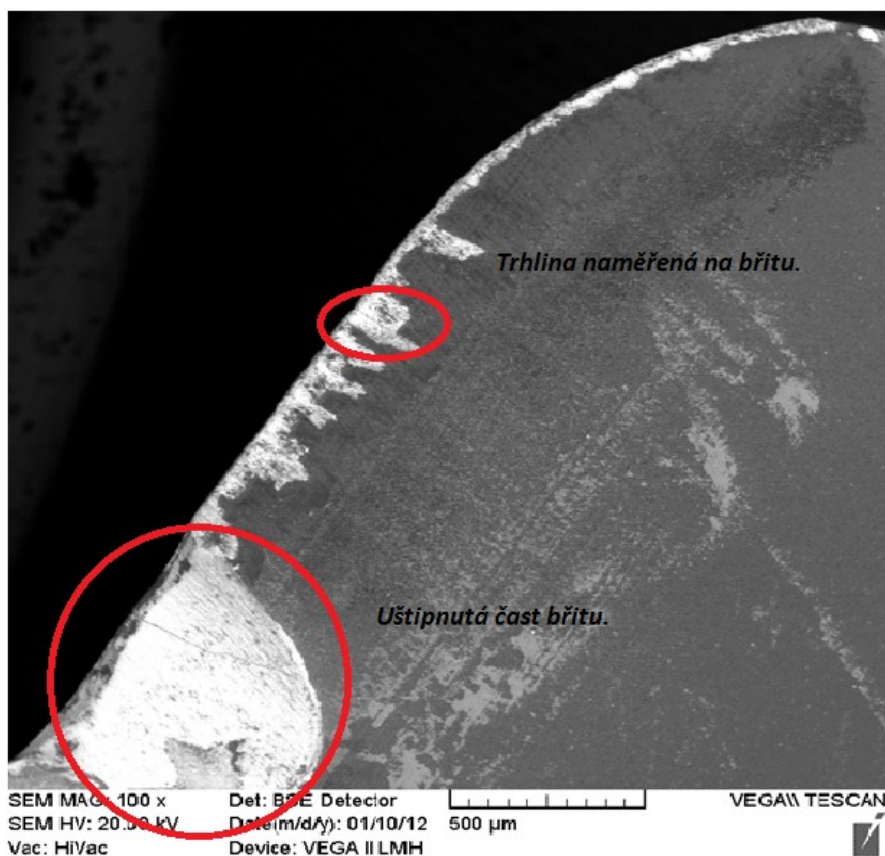
4.1 Vyhodnocení počtu trhlin na jednotlivých vzorcích

V této části zkoumáme počet a velikost trhlin u jednotlivých vzorků. Jak již bylo uvedeno výroba vzorku a jeho zkouška proběhla ve firmě Pramet Tools s.r.o. A naměření trhlin ve Vysoké škole báňské Technické univerzitě Ostrava. Během měření nedošlo k žádnému problému, který by mohl ovlivnit vyhodnocení.

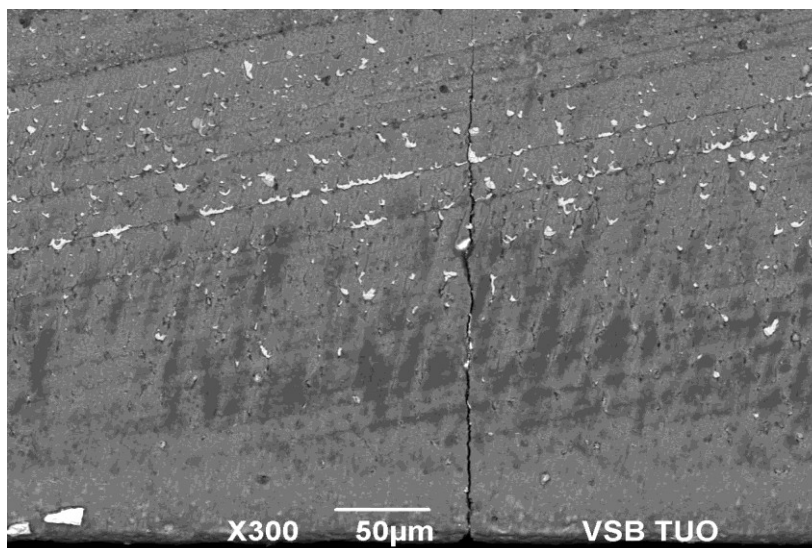


Graf 13 – Počty trhlin na jednotlivých vzorcích.

Z grafu je patrné, že nejlépe je na tom vzorek D, který obsahuje pouze jednu trhlínu, ale poměrně dlouhou 303,7 μm . A došlo také k uštípnutí velké části na čele bříty, kde se nachází další trhlina, kterou v důsledku odštípnutí nebudeme měřit.



Obrázek 11. – Detail odštípnuté části čela břítu a měřené trhliny.



Obrázek 12 - Měřená trhlina vzorku D vyfocena pomocí SEM.

Dále vzorky G a J vykazují malý počet trhlin, a to bez nějakých velkých odštípnutí na břítu. Ale u obou vzorků jsou trhliny poměrně velké, v průměru kolem 300 µm. Rovněž obsah kobaltu je u obou vzorků podobný. Vzorek F má pouze 5 trhlin na břítu, ale na rozdíl od vzorku G a J nejsou tak dlouhé v průměru kolem 200 µm. Následují další 3 vzorky s označením H, K a L které mají 7-8 trhlin a také se vyznačují tím, že

trhliny jsou kratší než u předchozích vzorků u H je to průměrně 205,32 μm , u K 177,7 μm a L má v průměru 153,17 μm . U vzorku A, C a i bylo napočítáno 12-13 trhlin a i zde je jde pozorovat zmenšující se tendenci délek trhlin, průměrné délky jsou 131÷153 μm . Jako poslední jsou vzorky E, který má 16 trhlin a průměrnou délku trhlin 186,45 μm a vzorek B, na kterém je trhlin 20, a průměrná délka trhlin je 165,92 μm .

4.2 Vyhodnocení typu trhlin v závislosti na chemickém složení a obsahu kobaltu.

První 3 vzorky a k tomu vzorek K odpovídají stejnému chemickému složení a to WC-Co +Ca₃C₂ ovšem mají jiný obsah kobaltu.

Tabulka 16 – Přehled typu trhlin u vzorku s jiným obsahem kobaltu

Vzorek	typ trhlin		obsah kobaltu (%)
	I	II	
A	4	9	7
B	7	13	10
C	4	8	13
K	4	3	13

V tabulce lze vidět, že u toho chemického složení je největší výskyt trhlin typu II, a také je zde největší výskyt trhlin všeobecně. Největší počet trhlin má vzorek B a to jak typu I tak i typu II. Z toho lze vyvodit, že je použit nevhodný obsah kobaltu. Vzorek K má nejmenší počet trhlin, ale má jinou zrnitost než předchozí 3 vzorky.

U následujících vzorků D, E, F a L je použito chemického složení Wc-Co +TaNbC a také mají různý obsah kobaltu.

Tabulka 17 - Přehled typu trhlin u vzorku s jiným obsahem kobaltu

Vzorek	typ trhlin		obsah kobaltu (%)
	I	II	
D	1	0	8
E	8	8	10,2
F	3	2	12
L	3	4	9

U toho chemického složení je vidět velká závislost na obsahu kobaltu. Při nejmenším použitém obsahu je pouze jedna trhlinka, ale jak již bylo zmíněno, došlo také k poškození odštípnutím části břitů. Nejlépe dopadl vzorek F kde je pouze 5 trhlín a jsou rovnoměrně rozděleny mezi typ I a typ II. Poslední vzorek s tímto složením má sice 7 trhlín avšak také jsou rovnoměrně rozloženy mezi oba typy, a hlavní je že tento vzorek má větší velikost zrna než předešlé 3.

Poslední čtyři vzorky mají chemické složení $Wc-Co+(Ti,Ta,Nb)C$, i zde je různý obsah kobaltu u každého vzorku, ale navíc je zde i jiná procentuelní hmotnost přídavných materiálů.

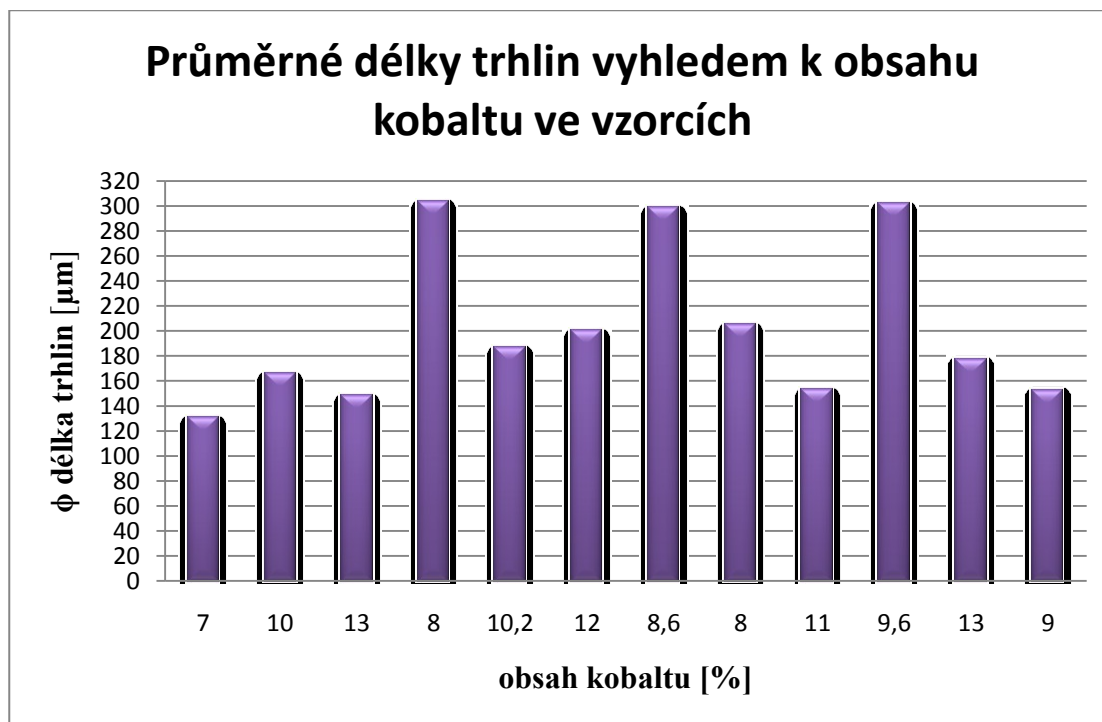
Tabulka 18 - Přehled typu trhlín u vzorku s jiným obsahem kobaltu

Vzorek	typ trhlín		obsah kobaltu (%)
	I	II	
G	3	0	8,6
H	6	2	8
I	4	8	11
J	2	0	9,6

U těchto vzorků je nejmenší výskyt trhlín, díky dobrému chemickému složení. Ale i tak zde můžeme pozorovat velkou závislost obsahu kobaltu. Je vidět, že u vzorku J je použito nejlepšího poměru kobaltu vzhledem k chemickému složení. Naopak jde vidět, že použitím vyšší procentuelní hmotnosti přidaných materiálů (kolem 19,5%) a obsahu kobaltu 8,6% a 9,6%, je eliminována tvorba trhlín typu II. A Trhlin typu I je velice málo. Pokud však použijeme nižší procento hmotnosti přídavných materiálů asi 12% je vidět narůstající počet trhlín jak typu I tak typu II.

4.3 Vyhodnocení délek trhlín v závislosti na obsahu kobaltu

U tohoto vyhodnocení byly spočítány průměrné hodnoty délek trhlín u jednotlivých vzorků. A porovnáváme je s obsahem kobaltu v jednotlivých vzorcích.



Graf 14 – Průměrné délky trhlin přiřazené k odpovídajícímu obsahu kobaltu v jednotlivých vzorcích.

Z grafu lze vyčíst, že vzorky D, G a J mají největší průměrné délky trhlin i když tyto vzorky nevykazují žádné trhliny typu II, a obecně u těchto tří vzorků je počet trhlin minimální, také rozdíl délek je jen nepatrný. Další trojice vzorku s podobnými průměry délek trhlin, jsou vzorky E, F a H, které mají oproti předchozí trojici podstatně menší průměrné délky trhlin. Následuje dvojice vzorků B a K u kterých je také malý rozdíl mezi průměrnou délkou trhlin je to jen o 11,85 μm. Trojice vzorků, která má také jen malý rozdíl v délkách je trojice L, i a C v podstatě lze říci, že průměrná délka u těchto vzorků je skoro shodná, u L a i je to pouze 0,22 μm, a vzorek C má jen o 5 μm menší průměrnou délku trhlin. Jako poslední nám zůstal vzorek A, který má sice mnoho trhlin, avšak jak lze vidět v grafu má nejmenší průměrnou délku trhlin.

Bohužel nejde jednoznačně určit který obsah kobaltu je nejlepší při výrobě destiček ze slinutého karbidu. Ale můžeme říci, že při obsahu kobaltu 8%; 8,6%, 9,6% jsou trhliny sice nejdelší oproti tomu, je jich poměrně málo. Naopak při obsahu 7 je trhlin poměrně dost, ale délky jsou o poznání menší. A mezi těmito dvěma extrémy se pohybují nejčastěji obsahy kobaltu někde u hodnot 9 – 13%.

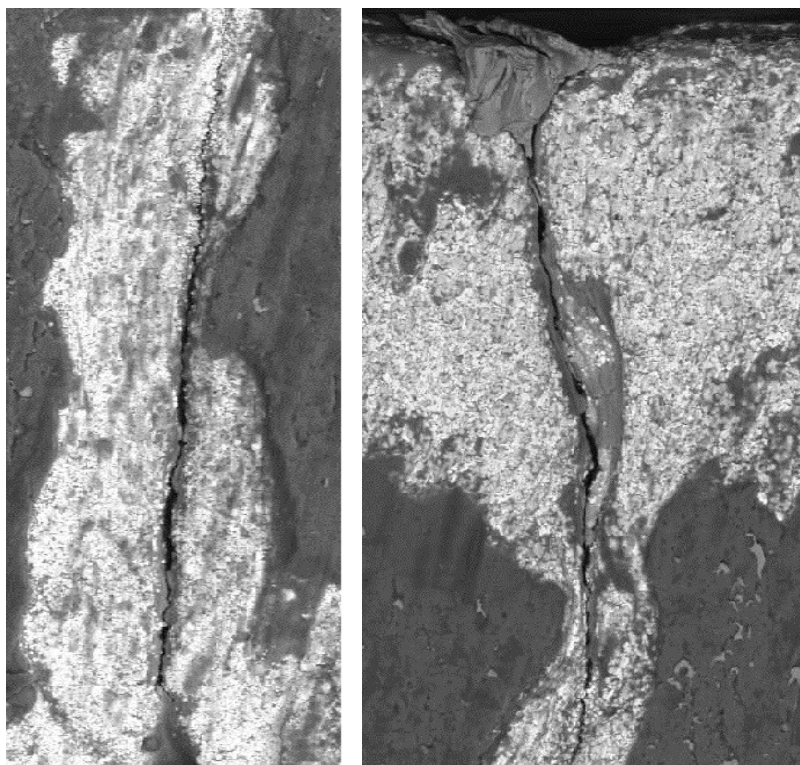
Závěr

Cílem diplomové práce bylo naměřit délky a počty trhlin na jednotlivých vzorcích, tyto trhliny vznikly při tepelném šoku, který byl iniciován v procesu obrábění. Tato zkouška proběhla při přesně zadaných řezných parametrech.

V teoretické části jsem se zabýval základními vlastnostmi slinutých karbidů, jejich rozdělení a povlakování jak metodou PVD tak i CVD. Jelikož se v diplomové práci zmiňují teploty při obrábění, byla přidána kapitola o měření teploty při obrábění.

V experimentální části bylo provedeno měření délek trhlin u jednotlivých vzorků. Vzorky byly nejdříve nafoceny na elektronovém mikroskopu ve vhodném měřítku, a následně pomocí pravítka zjištěny délky trhlin a jednoduchým vzorcem přepočítány na skutečné délky trhlin v μm .

Tyto trhliny se ve slinutých karbidech šíří po hranicích zrn, proto když má slinutý karbid jemnozrnnou strukturu, trhliny se šíří rychleji, a mají tendenci mít spíše tvar přímky. Naopak přidáním hrubšího zrna dostaneme trhliny, které jsou spíše šířeny chaotickou cestou, jak lze vidět na obrázku 13.



Obrázek 13 – Vlevo je slinutý karbid s jemnozrnnou strukturou (vzorek C) napravo s hrubými zrny (vzorek i).

V první části vyhodnocování jsem se zaměřil na počty trhlin na jednotlivých vzorcích, a nebral v potaz jejich délky. Nejlépe na tom byl vzorek D, který má jen jednu trhlínu avšak na břitu došlo k odlomení velké části materiálů, proto další vzorek s nejmenším počtem trhlin je J, který obsahuje dvě trhlíny a proto v tomto vyhodnocení vyšel nejlépe. Vzorek G taky stojí za zmínku, jelikož má tři trhlíny, a je ze stejného materiálového složení WC-Co+(Ti,Ta,Nb)C.

Následuje vyhodnocení typu trhlin na chemickém složení a obsahu kobaltu ve vzorku. Proto byly vzorky rozděleny do tří skupin podle svého chemického složení. U první skupiny kde náleží vzorky A, B, C a K je největší výskyt trhlin typu II, nejlépe v této skupině je na tom vzorek K ze 7 trhlínami čtyři jsou typu I a tři typu II při obsahu kobaltu 13%. V další skupině jsou vzorky D, E, F a L, ze kterých vyšel nejlépe vzorek F s třemi trhlínami typu I a dvěma typu II. Poslední skupina vzorků G, H, I, J se pyšní nejmenším počtem trhlin díky správně zvolenému chemickému složení. V této skupině je nejlepší vzorek J s dvěma trhlínami typu I a obsahem kobaltu 9,6%.

Vyhodnocení délek trhlin v závislosti na obsahu kobaltu. Nejprve byla vypočítána průměrná délka trhlin a přiřazena odpovídajícímu obsahu kobaltu ve vzorku. Když toto, bylo vyneseno do grafu, bylo zřejmé, že vzorky D, G, J mají nejdelší průměrné délky trhlin. Naopak nejlépe na tom byly vzorky A, L s nejmenší průměrnou délkou trhlin.

Jelikož vzorek J dopadl v hodnoceních nejlépe, domnívám se, že bude nejlepší na zhotovení destiček ze slinutého karbidu, i navzdory tomu, že při posledním zhodnocení dosáhl nejdelší průměrnou délku trhlin.

Literatura

- [1] ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – Označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. 02/2006.
- [2] KOUŘIL, K. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům*. [Online]. Duben 2004 [cit. 14.4.2004]. Dostupné z [www.http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum.html).
- [3] *Elektronový mikroskop*. [Online]. Březen 2012 [cit. 29.3.2012]. Dostupné z [www.<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%BD_mikroskop>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%BD_mikroskop).
- [4] DEMBEK.J. *Slinuté karbidy a jejich efektivní využití*. Brno 2010. Dostupné na [www.<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6370>](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6370)
- [5] Čep, R. *Měření teploty při obrábění*. Dostupné na [www.<homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_04.pdf>](http://www.homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_04.pdf).
- [6] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [7] LEICHTFRIED, G.; SAUTHOFF, G.; SPRIGGS, G. E. *Refractory, Hard and Intermetallic Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
- [8] CERATIZIT SA. Mamer, Luxemburg. *Hard metals for precision tools*. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.ceratizit.com/downloads/pdf/pdf_pas_rod-precision_tools_en.pdf.
- [9] ANDERSSON, K.M. Aqueous Processing of WC-Co Powders. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology, Department of Chemistry, Surface Chemistry. Stockholm, 2004. 78 p. ISBN 91-7283-714-4. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?searchId=3&pid=diva2:9566>.
- [10] Termistor. GM electronic, spol. s.r.o. [online]. c 1990–2012. Dostupné z [www.<http://www.gme.cz/termistory-ntc-pro-mereni-teploty/k164ne100-p118-004/>](http://www.gme.cz/termistory-ntc-pro-mereni-teploty/k164ne100-p118-004/).
- [11] HUMAR, A., PIŠKA, M. *Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum – Speciální vydání*. Zář 2004. ISSN 1212-2572. s. 84-96.



- [12] KOUŘIL, K. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům 2*. [Online]. Květen 2004 [cit. 17.5.2004]. Dostupné na [www<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum-2.html >](http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum-2.html)
- [13] Pyrometry. JIRKA a spol. s.r.o. [online]. c. 1999-2012. Dostupné z [www<http://www.prag-info.cz/_shop/Pyrometry+rad+AR-MTQ5NA-153167.html](http://www.prag-info.cz/_shop/Pyrometry+rad+AR-MTQ5NA-153167.html)
- [14] Teplotní čidla. I & CS spol. s.r.o. [online]. Dostupné z [www<http://www.google.cz/imgres?hl=cs&sa=X&biw=1280&bih=707&tbn=isch&prmd=imvns&tbnid=xKMw6y-CsRxlM:&imgrefurl=http://www.e-pristroje.cz/teplotni-cidla.html&docid=JtNWep74j7Ng4M&imgurl=http://www.e-pristroje.cz/pictures/teplomery/t512.jpg&w=375&h=499&ei=uFa3T_CCPcGi8QOksuTTCg&zoom=1&iact=hc&vpx=376&vpy=52&dur=1494&hovh=259&hovw=195&tx=97&ty=141&sig=114739062484802802094&page=1&tbnh=146&tbnw=105&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:75>](http://www.google.cz/imgres?hl=cs&sa=X&biw=1280&bih=707&tbn=isch&prmd=imvns&tbnid=xKMw6y-CsRxlM:&imgrefurl=http://www.e-pristroje.cz/teplotni-cidla.html&docid=JtNWep74j7Ng4M&imgurl=http://www.e-pristroje.cz/pictures/teplomery/t512.jpg&w=375&h=499&ei=uFa3T_CCPcGi8QOksuTTCg&zoom=1&iact=hc&vpx=376&vpy=52&dur=1494&hovh=259&hovw=195&tx=97&ty=141&sig=114739062484802802094&page=1&tbnh=146&tbnw=105&start=0&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:0,i:75)



Seznam příloh

Příloha A – Fotografie vzorků (SEM).



Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí diplomové práce paní Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D. za cenné informace a rady. Dále panu Ing. Petru Flašarovi za pomoc a umožnění měření diplomové práce ve firmě Pramet Tools s.r.o. A také mým rodičům za podporu při mém studiu na vysoké škole.